

土の繰返し抵抗のエネルギー的評価について

東北大学大学院 学生員 ○山口晶 高橋寿幸
 東北大学 正会員 柳沢栄司 風間基樹

表-1 土質特性

	沖積粘土				有機質土
	登米粘土a	登米粘土b	桃生粘土a	桃生粘土b	
GL(m)	-2.0 ~ -2.8	-2.0 ~ -2.9	-7.0 ~ -7.8	-9.0 ~ -9.9	-0.5 ~ -1.4
ρ_s (g/cm ³)	2.657	2.663	2.603	2.569	1.608
w_l	60.5	55.4	58.3	95.3	526
w_n	64.1	63.9	63.4	87.7	561
w_p	31.4	33.1	29.7	41.7	293
I_p	29.1	22.3	28.6	53.6	233
q_s (kPa)	26.9	20.1	45.3	50.4	23.7
P_s (kPa)	63.7	37.2	82.3	81.3	30.3
C_c	0.628	0.498	0.648	1.020	5.435

1. 研究の目的

本研究の目的は、土の繰返しせん断に対する抵抗を累積損失エネルギーで評価することによって、粘性土や砂質土といった地盤材料の繰返しせん断に対する靱性の違いを明らかにすることにある。粘性土については、再構成試料と乱さない試料の繰返し変形挙動は異なることから、再構成試料については圧密時間を1つのパラメーターとした試料に対する実験を行った。

表-2 実験ケース

2. 定ひずみ繰返しせん断実験

本研究では、豊浦砂・まさ土・沖積粘土（宮城県登米郡登米町[登米粘土a・b]・宮城県桃生郡桃生町[桃生粘土a・b]から採取）、・有機質土（宮城県桃生郡桃生町から採取）について、NGI型単純せん断試験を用いた非排水定ひずみ振幅繰返し試験を行った。沖積粘土と有機質土の土質特性を表-1に示す。実験ケースを表-2・表-3に示す。実験は手動によるひずみ制御で非排水のまま4段階のstep载荷を行った。登米粘土bについては、各4stepと同程度のひずみを処女载荷した実験も行った。豊浦砂とまさ土は同じ供試体作成方法によって作成したため、相対密度が異なっている。登米粘土bの再構成試料は圧密期間が3日・18日・37日のものを用意した。乱さない沖積粘土と有機質土が原地盤の堆積構造を有した正規圧密状態となるように、拘束圧は98kPaとした。

	拘束圧 kPa	せん断前 Dre	平均ひずみ (%)				繰返し回数			
			step1	2	3	4	step1	2	3	4
豊浦砂	98	52%	0.71	3.50	7.04	10.7	166	74	53	37
まさ土	98	100%	0.80	4.11	8.21	12.3	95	51	32	25
登米粘土a 乱さない	98	1.45	0.55	2.70	5.43	9.05	94	31	16	11
再構成3日	98	1.36	0.61	2.97	5.99	9.98	88	25	13	10
登米粘土b 乱さない	98	1.48	0.51	2.33	2.94	7.97	139	78	64	19
再構成3日	98	1.32	0.63	3.12	6.24	9.38	94	31	16	11
18日	98	1.29	0.63	3.07	6.15	9.25	132	52	28	18
37日	98	1.34	0.62	3.07	6.15	9.23	81	29	16	11
桃生粘土a 乱さない	98	1.61	0.58	2.84	5.69	8.53	89	29	14	11
桃生粘土b 乱さない	98	1.80	0.57	2.78	5.59	8.37	101	31	16	11
有機質土 乱さない	98	6.45	0.78	3.37	6.58	9.81	77	40	31	20
再構成3日	98	5.19	0.61	2.97	5.99	9.98	88	25	13	10

表-3 登米粘土bの処女载荷実験

登米粘土bを処女载荷	せん断前 e	ひずみ (%)	繰返し 回数
case1	1.54	0.46	90
case2	1.49	2.61	68
case3	1.54	5.55	25
case4	1.62	9.05	25

3. 実験結果及び考察

実験結果を応力-ひずみ履歴ループに囲まれる面積の累積値である累積損失エネルギーに着目して考察する。割線剛性と累積損失エネルギーは試験機の摩擦の影響を補正した値を用いている。図-1に豊浦砂・まさ土・乱さない粘土のstep1における累積損失エネルギーと過剰間隙水圧の関係を、図-2にstep1における同様の関係を再構成試料について示す。図-1・図-2から過剰間隙水圧比は正規化累積損失エネルギー(E)の対数と比例関係にあるといえる。そこで、以下の式で近似を行った。

$$u/\sigma_e = a \log_{10} E + b \cdot \cdot \cdot 1)$$

ここで u/σ_e は過剰間隙水圧比 (u は過剰間隙水圧, σ_e は初期有効拘束圧), E は正規化累積損失エネルギー ($E = \Sigma W/\sigma_e$; W は累積損失エネルギー) である。そこでstep1における1)式中の係数 a について

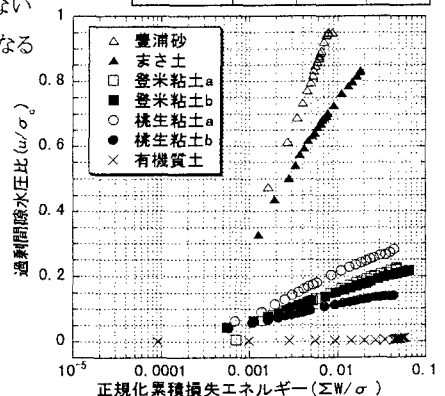


図-1 step1の豊浦砂・まさ土・乱さない粘土の正規化累積損失エネルギーと過剰間隙水圧比の関係

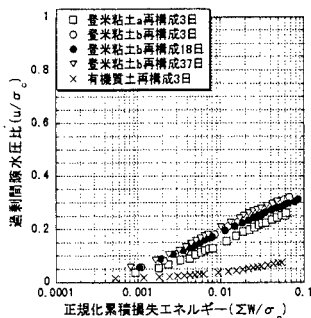


図-2 step1 の再構成粘土の累積損失エネルギーと過剰間隙水圧比

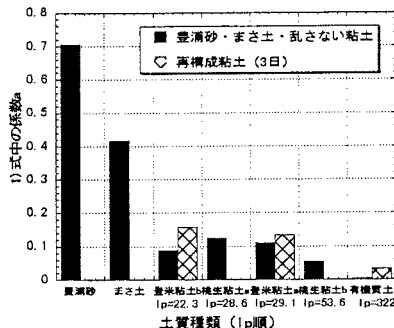


図-3 step1 における地盤材料と1) 式中の係数 a の関係

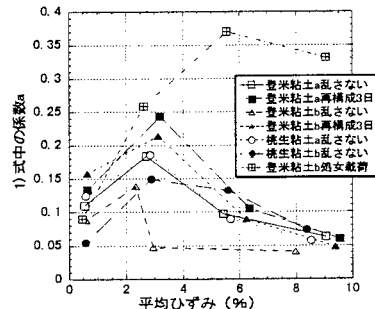


図-4 step 毎の平均ひずみと1) 式中の係数 a の関係

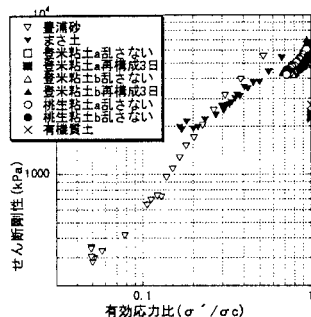


図-5 step1 の割線剛性と有効応力比の関係

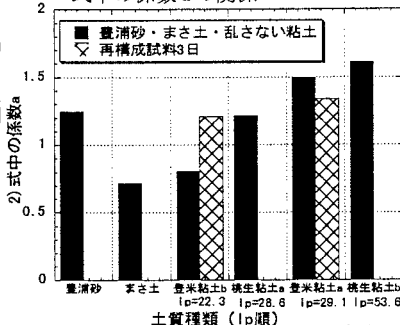


図-6 step1 の地盤材料と2) 式中の係数 a の関係

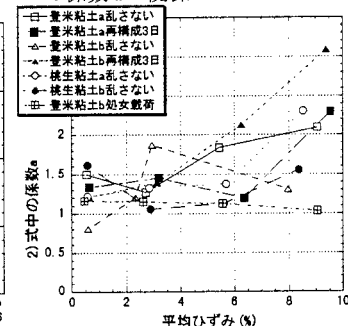


図-7 平均ひずみと2) 式中の係数 a との関係

て、豊浦砂、まさ土、沖積粘土、有機質土について示したものを図-3に示す。なお、沖積粘土と有機質土については I_p の小さい順に並べた。図-3から、間隙水圧の上昇に費やされるエネルギーは地盤材料ごとに異なり、塑性指数に関係があるように見える。図-4に各stepの平均ひずみと1)式中の係数 a との関係を示した。step 1 載荷した試料は係数 a が3%付近のひずみで上に凸となりそれより大きいひずみでは減少する傾向にある。しかし、登米粘土 b を処女載荷した結果では、5%付近のひずみで上に凸となり、step 1 載荷したものと傾向が異なる。これは、step 1 載荷したことによる履歴の影響であると考えられる。step 1 ~ 2 におけるひずみ履歴により、粘土の構造が破壊されたため、step 3 ~ 4 で履歴を与えても間隙水圧の上昇に損失エネルギーが寄与しにくい構造へ変化したためである。ここでせん断抵抗の差をせん断剛性の違いととらえ、step 1 における有効応力と割線剛性の関係を図-5に示す。この図からせん断剛性と有効応力に相関が見られることは明らかである。一般にせん断剛性は、有効応力とべき乗の関係があると考えられていることから、以下の式で近似した。

$$\text{Log} G = a \text{Log}(\sigma' / \sigma_v) + \log b \cdots (2)$$

ここで、 G は割線剛性(kPa)、 σ' / σ_v は有効応力比(σ' は有効応力)である。有機質土は各stepで繰返し載荷に対して有効応力とせん断剛性の変化がほとんどなく相関係数が極端に低い。図-6にstep 1 における地盤材料と2)式中の係数 a を示す。図-6からは地盤材料の違いに関わらず係数 a は0.5 ~ 1.5程度の値を示す。図-7は2)式中の係数 a を各stepの平均ひずみに対してプロットしたものである。step 1 載荷したものはひずみに対して比例関係の傾向が見られるが、処女載荷試料は、各ひずみ量に対して一定値を示している。履歴の影響と考えられるが、さらに検討する余地がある。

4. 結論

定ひずみ振幅非排水せん断試験を行った際の累積損失エネルギーと過剰間隙水圧比の関係を1)式で近似させた場合、係数 a の値は地盤材料の塑性指数に関係する。また、割線剛性と有効応力比の関係を2)式で近似させた場合、係数 a の値は0.5%程度のひずみにおいて0.5 ~ 1.5程度の値となることがわかった。